

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-299314  
(43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065  
H01L 21/31  
H05H 1/46

(21)Application number : 2001-094271

(71)Applicant : **OMI TADAHIRO**  
**TOKYO ELECTRON LTD**

(22)Date of filing : 28.03.2001

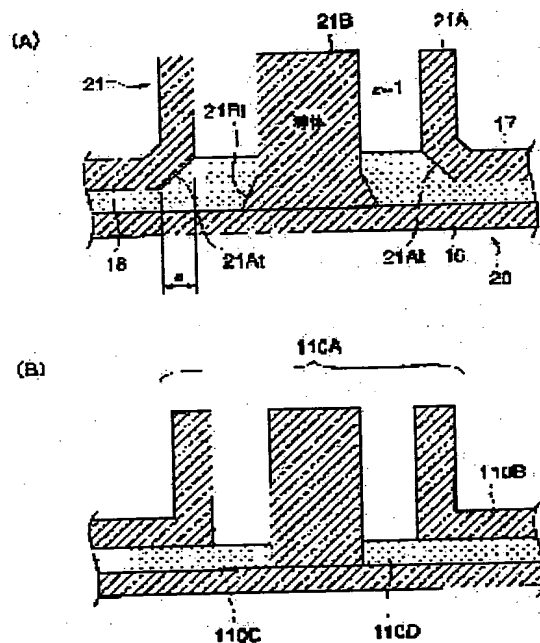
(72)Inventor : OMI TADAHIRO  
HIRAYAMA MASAKI  
SUGAWA SHIGETOSHI  
GOTO TETSUYA

## (54) PLASMA PROCESSING APPARATUS

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To stabilize plasma generation in a microwave plasma processing apparatus which suppressing generation of reflected waves at the connection part between a microwave supply waveguide and a microwave antenna, for improving charging efficiency, and suppressing discharging.

**SOLUTION:** A tapered surface for reducing impedance variation and a member which has an intermediate dielectric constant are provided between the microwave supply waveguide and the microwave antenna.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

Searching PAJ

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-299314  
(P2002-299314A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/31	C 5 F 0 0 4
21/31		H 0 5 H 1/46	B 5 F 0 4 5
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数35 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2001-94271(P2001-94271)

(22) 出願日 平成13年3月28日 (2001. 3. 28)

(71) 出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(74) 代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

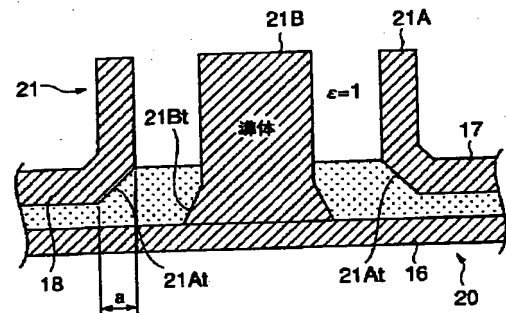
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

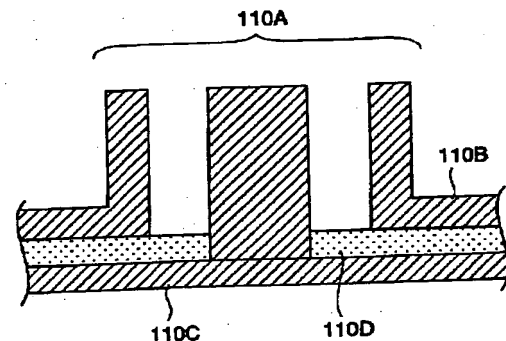
【課題】 マイクロ波プラズマ処理装置において、マイクロ波供給導波管とマイクロ波アンテナとの接続部における反射波の形成を抑制し、給電効率を向上させ、放電を抑制し、プラズマ処理装置中におけるプラズマ形成を安定化させる。

【解決手段】 マイクロ波供給導波管とマイクロ波アンテナとの間に、インピーダンス変化を緩和させるためテーパ面や、中間的な誘電率を有する部材を設ける。

(A)



(B)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、  
前記処理容器に結合された排気系と、  
前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の一部として設けられたマイクロ波透過窓と、  
前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、  
前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナと、  
前記マイクロ波アンテナに電気的に結合されたマイクロ波電源とよりなり、  
前記マイクロ波アンテナは、前記マイクロ波電源に接続され、内側導体コアとこれを囲む外側導体管とよりなる同軸導波管と、  
前記同軸導波管の先端に設けられたアンテナ本体とよりなり、  
前記アンテナ本体は、前記マイクロ波透過窓に結合しマイクロ波放射面を形成する第1の導体面と、前記第1の導体面に対して誘電体板を隔てて対向し、前記誘電体板の外周部において前記第1の導体面に接続される第2の導体面とよりなり、  
前記内側導体コアは前記第1の導体面に第1の接続部により接続され、  
前記外側導体管は前記第2の導体面に第2の接続部により接続され、  
前記第1の接続部は、前記内側導体コアの外径が前記第1の導体面に向かって増大する第1のテーパ部を形成し、  
前記第2の接続部は、前記外側導体管の内径が前記第1の導体面に向かって増大する第2のテーパ部を形成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記内側導体コアの外面と前記外側導体管の内面との間の間隔が、前記第1の導体面に向かって増大することを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記第1のテーパ部は、第1の湾曲面により画成されており、前記第2のテーパ部は第2の湾曲面により画成されていることを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、第1の端面と前記第1の端面に対向する第2の端面とにより画成された誘電体部材が、前記第1の端面において前記誘電体板に隣接するように設けられ、前記誘電体部材は、前記誘電体板の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有することを特徴とする請求項1から3のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記誘電体部材は、前記第1の端面から前記第2の端面まで、組成を変化させることを特徴とする

る請求項4記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記誘電体板は、アルミナ、酸化ケイ素、酸化ケイ素および窒化ケイ素のいずれかよりなり、前記誘電体部材は、酸化ケイ素よりなることを特徴とする請求項4記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、前記誘電体部材の前記第2の端面に隣接して、前記誘電体部材の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有する別の誘電体部材が設けられることを特徴とする請求項4または5記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 前記誘電体部材は酸化ケイ素よりなり、前記別の誘電体部材はテフロン（登録商標）よりなることを特徴とする請求項7記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 前記誘電体部材の前記第2の端面はテーパ面を形成し、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに減少することを特徴とする請求項4記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに直線的に減少することを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに指数関数的に減少することを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記プラズマガス供給部は、前記マイクロ波透過窓の内側に密接して設けられた、マイクロ波を透過させる材料よりなりプラズマガス源に接続可能なプラズマガス通路およびこれに連通する複数の開口部を有するシャワープレートよりなることを特徴とする請求項1～11のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記マイクロ波透過窓および前記シャワープレートは、アルミナよりなることを特徴とする請求項12記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられたことを特徴とする請求項1～11のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項15】 前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられた管よりなることを特徴とする請求項14記載のプラズマ処理装置。

【請求項16】 前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓に接触するように設けられることを特徴とする請求項1～15のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項17】 前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓から離間するように設けられることを特徴とする請求項1～15のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項18】 さらに、前記処理容器中には、前記被処理基板と前記プラズマガス供給部との間に、前記被処

理基板に対面するように処理ガス供給部が設けられ、前記処理ガス供給部には、前記処理容器中に形成されたプラズマを通過させる第1の開口部と、処理ガスを供給する第2の開口部とが形成され、前記第2の開口部は、前記処理ガス供給部に形成され処理ガス源に接続される処理ガス通路に連通することを特徴とする請求項1~17のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項19】 外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器に結合された排気系と、前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の一部として設けられたマイクロ波透過窓と、前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナと、前記マイクロ波アンテナに電気的に結合されたマイクロ波電源とよりなり、前記マイクロ波アンテナは、前記マイクロ波電源に接続され、内側導体コアとこれを囲む外側導体管とよりなる同軸導波管と、前記同軸導波管の先端に設けられたアンテナ本体とよりなり、前記アンテナ本体は、前記マイクロ波透過窓に結合しマイクロ波放射面を形成する第1の導体面と、前記第1の導体面に対して第1の誘電体材料よりなる誘電体板を隔てて対向し、前記誘電体板の外周部において前記第1の導体面に接続される第2の導体面とよりなり、前記内側導体コアは前記第1の導体面に第1の接続部により接続され、前記外側導体管は前記第2の導体面に第2の接続部により接続され、前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、第1の端面と前記第1の端面に対向する第2の端面とにより画成された誘電体部材が、前記第1の端面において前記誘電体板に隣接するように設けられ、前記誘電体部材は、前記誘電体板の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項20】 前記第1の接続部において、前記内側導体コアは前記第1の導体面に実質的に直角に接続されることを特徴とする請求項19記載のプラズマ処理装置。

【請求項21】 前記第2の接続部において、前記外側導体コアは前記第2の導体面に実質的に直角に接続されることを特徴とする請求項19または20記載のプラズマ処理装置。

【請求項22】 前記誘電体部材は、前記第1の端面から前記第2の端面まで、組成を変化させることを特徴と

する請求項19~21のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項23】 前記誘電体板は、アルミナ、酸化ケイ素、酸化窒化ケイ素および窒化ケイ素のいずれかよりなり、前記誘電体部材は、酸化ケイ素よりなることを特徴とする請求項19~22のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項24】 前記内側導体コアと前記外側導波管との間の空間には、前記誘電体部材の前記第2の端面に隣接して、前記誘電体部材の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有する別の誘電体部材が設けられることを特徴とする請求項21~23のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項25】 前記誘電体部材は酸化ケイ素よりなり、前記別の誘電体部材はテフロンよりなることを特徴とする請求項24記載のプラズマ処理装置。

【請求項26】 前記誘電体部材の前記第2の端面はテーパ面を形成し、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに減少することを特徴とする請求項21~23のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項27】 前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに直線的に減少することを特徴とする請求項26記載のプラズマ処理装置。

【請求項28】 前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに指数関数的に減少することを特徴とする請求項26記載のプラズマ処理装置。

【請求項29】 前記プラズマガス供給部は、前記マイクロ波透過窓の内側に密接して設けられた、マイクロ波を透過させる材料よりなりプラズマガス源に接続可能なプラズマガス通路およびこれに連通する複数の開口部を有するシャワープレートよりなることを特徴とする請求項19~28のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項30】 前記マイクロ波透過窓および前記シャワープレートは、アルミナよりなることを特徴とする請求項29記載のプラズマ処理装置。

【請求項31】 前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられたことを特徴とする請求項19~28のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項32】 前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられた管よりなることを特徴とする請求項31記載のプラズマ処理装置。

【請求項33】 前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓に接触するように設けられることを特徴とする請求項19~32のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項34】 前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓から離間するように設けられることを特徴とする請求項19~32のうち、い

ずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項35】 さらに、前記処理容器中には、前記被処理基板と前記プラズマガス供給部との間に、前記被処理基板に対面するように処理ガス供給部が設けられ、前記処理ガス供給部には、前記処理容器中に形成されたプラズマを通過させる第1の開口部と、処理ガスを供給する第2の開口部とが形成され、前記第2の開口部は、前記処理ガス供給部に形成され処理ガス源に接続される処理ガス通路に連通することを特徴とする請求項19～34のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は一般にプラズマ処理装置に係わり、特にマイクロ波プラズマ処理装置に関する。

【0002】 プラズマ処理工程およびプラズマ処理装置は、近年のいわゆるディープサブミクロン素子あるいはディープサブクォーターミクロン素子と呼ばれる $0.1\mu\text{m}$ に近い、あるいはそれ以下のゲート長を有する超微細化半導体装置の製造や、液晶表示装置を含む高解像度平面表示装置の製造にとって、不可欠の技術である。

【0003】 半導体装置や液晶表示装置の製造に使われるプラズマ処理装置としては、従来より様々なプラズマの励起方式が使われているが、特に平行平板型高周波励起プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置が一般的である。しかしこれら従来のプラズマ処理装置は、プラズマ形成が不均一であり、電子密度の高い領域が限定されているため大きな処理速度すなわちスループットで被処理基板全面にわたり均一なプロセスを行うのが困難である問題点を有している。この問題は、特に大径の基板を処理する場合に深刻になる。しかもこれら従来のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため被処理基板上に形成される半導体素子にダメージが生じ、また処理室壁のスパッタリングによる金属汚染が大きいなど、いくつかの本質的な問題を有している。このため、従来のプラズマ処理装置では、半導体装置や液晶表示装置のさらなる微細化およびさらなる生産性の向上に対する厳しい要求を満たすことが困難になりつつある。

【0004】 一方、従来より直流磁場を用いずにマイクロ波電界により励起された高密度プラズマを使うマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている。例えば、均一なマイクロ波を発生するように配列された多数のスロットを有する平面状のアンテナ（ラジアルラインスロットアンテナ）から処理容器内にマイクロ波を放射し、このマイクロ波電界により真空容器内のガスを電離してプラズマを励起させる構成のプラズマ処理装置が提案されている。例えば特開平9-63793公報を参照。このような手法で励起されたマイクロ波プラズマではアンテナ直下の広い領域にわたって高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能であ

る。しかもかかる手法で形成されたマイクロ波プラズマではマイクロ波によりプラズマを励起するため電子温度が低く、被処理基板のダメージや金属汚染を回避することができる。さらに大面積基板上にも均一なプラズマを容易に励起できるため、大口径半導体基板を使った半導体装置の製造工程や大型液晶表示装置の製造にも容易に対応できる。

【0005】

【従来の技術】 図1(A)、(B)は、かかるラジアルラインスロットアンテナを使った従来のマイクロ波プラズマ処理装置100の構成を示す。ただし図1(A)はマイクロ波プラズマ処理装置100の断面図を、また図1(B)はラジアルラインスロットアンテナの構成を示す図である。

【0006】 図1(A)を参照するに、マイクロ波プラズマ処理装置100は複数の排気ポート116から排気される処理室101を有し、前記処理室101中には被処理基板114を保持する保持台115が形成されている。前記処理室101の均一な排気を実現するため、前記保持台115の周囲にはリング状に空間101Aが形成されており、前記複数の排気ポート116を前記空間101Aに連通するように等間隔で、すなわち被処理基板に対して軸対称に形成することにより、前記処理室101を前記空間101Aおよび排気ポート116を介して均一に排気することができる。

【0007】 前記処理室101上には、前記保持台115上の被処理基板114に対応する位置に、前記処理室101の外壁の一部として、低損失誘電体よりなり多数の開口部107を形成された板状のシャワープレート103がシールリング109を介して形成されており、さらに前記シャワープレート103の外側に同じく低損失誘電体よりなるカバープレート102が、別のシールリング108を介して設けられている。

【0008】 前記シャワープレート103にはその上面にプラズマガスの通路104が形成されており、前記複数の開口部107の各々は前記プラズマガス通路104に連通するように形成されている。さらに、前記シャワープレート103の内部には、前記処理容器101の外壁に設けられたプラズマガス供給ポート105に連通するプラズマガスの供給通路108が形成されており、前記プラズマガス供給ポート105に供給されたArやKr等のプラズマガスは、前記供給通路108から前記通路104を介して前記開口部107に供給され、前記開口部107から前記処理容器101内部の前記シャワープレート103直下の空間101Bに、実質的に一様な濃度で放出される。

【0009】 前記処理容器101上には、さらに前記カバープレート102の外側に、前記カバープレート102から4～5mm離間して、図1(B)に示す放射面を有するラジアルラインスロットアンテナ110が設けら

れている。前記ラジアルラインスロットアンテナ110は外部のマイクロ波源（図示せず）に同軸導波管110Aを介して接続されており、前記マイクロ波源からのマイクロ波により、前記空間101Bに放出されたプラズマガスを励起する。前記カバープレート102とラジアルラインスロットアンテナ110の放射面との間の隙間は大気により充填されている。

【0010】前記ラジアルラインスロットアンテナ110は、前記同軸導波管110Aの外側導波管に接続された平坦なディスク状のアンテナ本体110Bと、前記アンテナ本体110Bの開口部に形成された、図1(B)に示す多数のスロット110aおよびこれに直交する多数のスロット110bを形成された放射板110Cとよりなり、前記アンテナ本体110Bと前記放射板110Cとの間には、厚さが一定の誘電体板よりなる遅相板110Dが挿入されている。

【0011】かかる構成のラジアルラインスロットアンテナ110では、前記同軸導波管110から給電されたマイクロ波は、前記ディスク状のアンテナ本体110Bと放射板110Cとの間を、半径方向に広がりながら進行するが、その際に前記遅相板110Dの作用により波長が圧縮される。そこで、このようにして半径方向に進行するマイクロ波の波長に対応して前記スロット110aおよび110bを同心円状に、かつ相互に直交するように形成しておくことにより、円偏波を有する平面波を前記放射板110Cに実質的に垂直な方向に放射することができる。

【0012】かかるラジアルラインスロットアンテナ110を使うことにより、前記シャワープレート103直下の空間101Bに均一な高密度プラズマが形成される。このようにして形成された高密度プラズマは電子温度が低く、そのため被処理基板114にダメージが生じることがなく、また処理容器101の器壁のスパッタリングに起因する金属汚染が生じることもない。

【0013】図1のプラズマ処理装置100では、さらに前記処理容器101中、前記シャワープレート103と被処理基板114との間に、外部の処理ガス源（図示せず）から前記処理容器101中に形成された処理ガスイニエータ112を介して処理ガスを供給する多数のノズル113を形成された導体構造物111が形成されており、前記ノズル113の各々は、供給された処理ガスを、前記導体構造物111と被処理基板114との間の空間101Cに放出する。前記導体構造物111には、前記隣接するノズル113と113との間に、前記空間101Bにおいて形成されたプラズマを前記空間101Bから前記空間101Cに拡散により、効率よく通過させるような大きさの開口部が形成されている。

【0014】そこで、このように前記導体構造物111から前記ノズル113を介して処理ガスを前記空間101Cに放出した場合、放出された処理ガスは前記空間1

01Bにおいて形成された高密度プラズマにより励起され、前記被処理基板114上に、一様なプラズマ処理が、効率的かつ高速に、しかも基板および基板上の素子構造を損傷させることなく、また基板を汚染することなく行われる。一方前記ラジアルラインスロットアンテナ110から放射されたマイクロ波は、かかる導体構造物111により阻止され、被処理基板114を損傷させることはない。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】ところで図1のプラズマ処理装置100では、図示されていないマイクロ波源で形成された大パワーのマイクロ波を、前記ラジアルラインスロットアンテナ110に効率よく供給する必要がある。

【0016】一般に、マイクロ波アンテナとこれに協働する導波管との間には、例えばマイクロ波アンテナで受信された微弱なマイクロ波信号を損失なく導波管中に注入するためにインピーダンス整合構造が設けられる。一方、図1のプラズマ処理装置100で使われるラジアルラインスロットアンテナ110では、導波管から大パワーのマイクロ波がアンテナに供給されるだけでなく、供給されたマイクロ波が処理容器101中に形成されたプラズマで反射されて形成された反射波も前記アンテナ110および導波管中に重畳された状態で存在しているため、前記アンテナ本体110と導波管との間のインピーダンス整合が不適切であると、前記プラズマ処理装置100の運転中に、前記ラジアルラインスロットアンテナ110あるいは同軸導波管中に異常放電が生じてしまう問題があった。このため導波管とアンテナ本体110とを結合する給電部におけるインピーダンス整合は、通常のアンテナの場合よりもはるかに重要になる。

【0017】そこで本発明は、上記の課題を解決した、新規で有用なプラズマ処理装置を提供することを概括的課題とする。

【0018】本発明のより具体的な課題は、マイクロ波アンテナを有し、前記マイクロ波アンテナから処理容器中にマイクロ波透過窓を介して供給されるマイクロ波により、前記処理容器中にプラズマを形成し、前記プラズマ中において被処理基板の処理を行うプラズマ処理装置において、マイクロ波導波管から前記マイクロ波アンテナへのマイクロ波の給電効率を向上させ、また前記マイクロ波導波管と前記マイクロ波アンテナとの接続部におけるインピーダンス不整合に伴う異常放電の問題を解消したプラズマ処理装置を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を、請求項1に記載したように、外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器に結合された排気系と、前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の

一部として設けられたマイクロ波透過窓と、前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナと、前記マイクロ波アンテナに電氣的に結合されたマイクロ波電源とよりなり、前記マイクロ波アンテナは、前記マイクロ波電源に接続され、内側導体コアとこれを囲む外側導体管とよりなる同軸導波管と、前記同軸導波管の先端に設けられたアンテナ本体とよりなり、前記アンテナ本体は、前記マイクロ波透過窓に結合しマイクロ波放射面を形成する第1の導体面と、前記第1の導体面に対して誘電体板を隔てて対向し、前記誘電体板の外周部において前記第1の導体面に接続される第2の導体面とよりなり、前記内側導体コアは前記第1の導体面に第1の接続部により接続され、前記外側導体管は前記第2の導体面に第2の接続部により接続され、前記第1の接続部は、前記内側導体コアの外径が前記第1の導体面に向かって増大する第1のテーパ部を形成し、前記第2の接続部は、前記外側導体管の内径が前記第1の導体面に向かって増大する第2のテーパ部を形成することを特徴とするプラズマ処理装置により、または請求項2に記載したように、前記内側導体コアの外表面と前記外側導体管の内表面との間の間隔が、前記第1の導体面に向かって増大することを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置により、または請求項3に記載したように、前記第1のテーパ部は、第1の湾曲面により画成されており、前記第2のテーパ部は第2の湾曲面により画成されていることを特徴とする請求項1または2記載のプラズマ処理装置により、または請求項4に記載したように、前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、第1の端面と前記第1の端面に対向する第2の端面とにより画成された誘電体部材が、前記第1の端面において前記誘電体板に隣接するように設けられ、前記誘電体部材は、前記誘電体板の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有することを特徴とする請求項1から3のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項5に記載したように、前記誘電体部材は、前記第1の端面から前記第2の端面まで、組成を変化させることを特徴とする請求項4記載のプラズマ処理装置により、または請求項6に記載したように、前記誘電体板は、アルミナ、酸化ケイ素、酸化ケイ素および窒化ケイ素のいずれかよりなり、前記誘電体部材は、酸化ケイ素よりなることを特徴とする請求項4記載のプラズマ処理装置により、または請求項7に記載したように、前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、前記誘電体部材の前記第2の端面に隣接して、前記誘電体部材の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有する別の誘電体部材が設けられることを特徴とする請求項4または5記載のプラズマ処理装置により、または請求項8に記載したように、前記誘電体部材は酸化ケイ素よりなり、前記別の誘電体部材

はテフロンよりなることを特徴とする請求項7記載のプラズマ処理装置により、または請求項9に記載したように、前記誘電体部材の前記第2の端面はテーパ面を形成し、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに減少することを特徴とする請求項4記載のプラズマ処理装置により、または請求項10に記載したように、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに直線的に減少することを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項11に記載したように、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに指数関数的に減少することを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項12に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記マイクロ波透過窓の内側に密接して設けられた、マイクロ波を透過させる材料よりなりプラズマガス源に接続可能なプラズマガス通路およびこれに連通する複数の開口部を有するシャワープレートよりなることを特徴とする請求項1～11のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項13に記載したように、前記マイクロ波透過窓および前記シャワープレートは、アルミナよりなることを特徴とする請求項12記載のプラズマ処理装置により、または請求項14に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられたことを特徴とする請求項1～11のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項15に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられた管よりなることを特徴とする請求項14記載のプラズマ処理装置により、または請求項16に記載したように、前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓に接触するように設けられることを特徴とする請求項1～15のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項17に記載したように、前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓から離間するように設けられることを特徴とする請求項1～15のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項18に記載したように、さらに、前記処理容器中には、前記被処理基板と前記プラズマガス供給部との間に、前記被処理基板に対面するように処理ガス供給部がモブけられ、前記処理ガス供給部には、前記処理容器中に形成されたプラズマを通過させる第1の開口部と、処理ガスを供給する第2の開口部とが形成され、前記第2の開口部は、前記処理ガス供給部に形成され処理ガス源に接続される処理ガス通路に連通することを特徴とする請求項1～17のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項19に記載したように、外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器に結合された排気系と、前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の一部として

設けられたマイクロ波透過窓と、前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナと、前記マイクロ波アンテナに電氣的に結合されたマイクロ波電源とよりなり、前記マイクロ波アンテナは、前記マイクロ波電源に接続され、内側導体コアとこれを囲む外側導体管とよりなる同軸導波管と、前記同軸導波管の先端に設けられたアンテナ本体とよりなり、前記アンテナ本体は、前記マイクロ波透過窓に結合しマイクロ波放射面を形成する第1の導体面と、前記第1の導体面に対して第1の誘電体材料よりなる誘電体板を隔てて対向し、前記誘電体板の外周部において前記第1の導体面に接続される第2の導体面とよりなり、前記内側導体コアは前記第1の導体面に第1の接続部により接続され、前記外側導体管は前記第2の導体面に第2の接続部により接続され、前記内側導体コアと前記外側導体管との間の空間には、第1の端面と前記第1の端面に対向する第2の端面とにより画成された誘電体部材が、前記第1の端面において前記誘電体板に隣接するように設けられ、前記誘電体部材は、前記誘電体板の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有することを特徴とするプラズマ処理装置により、または請求項20に記載したように、前記第1の接続部において、前記内側導体コアは前記第1の導体面に実質的に直角に接続されることを特徴とする請求項19記載のプラズマ処理装置により、または請求項21に記載したように、前記第2の接続部において、前記外側導体コアは前記第2の導体面に実質的に直角に接続されることを特徴とする請求項19または20記載のプラズマ処理装置により、または請求項22に記載したように、前記誘電体部材は、前記第1の端面から前記第2の端面まで、組成を変化させることを特徴とする請求項19～21のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項23に記載したように、前記誘電体板は、アルミナ、酸化ケイ素、酸化ケイ素および窒化ケイ素のいずれかよりなり、前記誘電体部材は、酸化ケイ素よりなることを特徴とする請求項19～22のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項24に記載したように、前記内側導体コアと前記外側導波管との間の空間には、前記誘電体部材の前記第2の端面に隣接して、前記誘電体部材の比誘電率よりも小さく、空気よりも大きい比誘電率を有する別の誘電体部材が設けられることを特徴とする請求項21～23のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項25に記載したように、前記誘電体部材は酸化ケイ素よりなり、前記別の誘電体部材はテフロンよりなることを特徴とする請求項24記載のプラズマ処理装置により、または請求項26に記載したように、前記誘電体部材の前記第2の端面はテーパ面を形成し、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに減少することを特徴と

する請求項21～23のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項27に記載したように、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに直線的に減少することを特徴とする請求項26記載のプラズマ処理装置により、または請求項28に記載したように、前記誘電体部材の外径は、前記第1の端面からの距離とともに指数関数的に減少することを特徴とする請求項26記載のプラズマ処理装置により、または請求項29に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記マイクロ波透過窓の内側に密接して設けられた、マイクロ波を透過させる材料よりなりプラズマガス源に接続可能なプラズマガス通路およびこれに連通する複数の開口部を有するシャワープレートよりなることを特徴とする請求項19～28のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項30に記載したように、前記マイクロ波透過窓および前記シャワープレートは、アルミナよりなることを特徴とする請求項29記載のプラズマ処理装置により、または請求項31に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられたことを特徴とする請求項19～28のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項32に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記処理容器の外壁に設けられた管よりなることを特徴とする請求項31記載のプラズマ処理装置により、または請求項33に記載したように、前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓に接触するように設けられることを特徴とする請求項19～32のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項34に記載したように、前記マイクロ波アンテナは、前記第1の導体面が前記マイクロ波透過窓から離間するように設けられることを特徴とする請求項19～32のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項35に記載したように、さらに、前記処理容器中には、前記被処理基板と前記プラズマガス供給部との間に、前記被処理基板に対面するように処理ガス供給部がモブけられ、前記処理ガス供給部には、前記処理容器中に形成されたプラズマを通過させる第1の開口部と、処理ガスを供給する第2の開口部とが形成され、前記第2の開口部は、前記処理ガス供給部に形成され処理ガス源に接続される処理ガス通路に連通することを特徴とする請求項19～34のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、解決する。

〔作用〕本発明によれば、大出力マイクロ波源に接続されたマイクロ波導波管とマイクロ波アンテナとの間の接続部におけるインピーダンスの急変が回避され、その結果かかる接続部における反射波の形成が効果的に抑制される。前記接続部における反射波の抑制にともない、かかる接続部における異常放電および異常放電によるアンテナの損傷が回避される。また、かかる反射波の抑制に

より、前記処理容器中への前記マイクロ波透過窓を介したマイクロ波の供給が安定し、前記処理容器中に所望のプラズマを、安定して形成することが可能になる。

【0020】

【発明の実施の形態】〔第1実施例〕図2(A)、

(B)は、本発明の第1実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10の構成を示す。

【0021】図2(A)を参照するに、前記マイクロ波プラズマ処理装置10は処理容器11と、前記処理容器11内に設けられ、被処理基板12を静電チャックにより保持する好ましくは熱間等方圧加圧法(HIP)により形成されたAINもしくは $Al_2O_3$ よりなる保持台13とを含み、前記処理容器11内には前記保持台13を囲む空間11Aに等間隔に、すなわち前記保持台13上の被処理基板12に対して略軸対称な関係で少なくとも二箇所、好ましくは三箇所以上に排気ポート11aが形成されている。前記処理容器11は、かかる排気ポート11aを介して後ほど説明する不等ピッチ不等傾角スクリュポンプにより、排気・減圧される。

【0022】前記処理容器11は好ましくはAlを含有するオーステナイトステンレス鋼よりなり、内壁面には酸化処理により酸化アルミニウムよりなる保護膜が形成されている。また前記処理容器11の外壁のうち前記被処理基板12に対応する部分には、HIP法により形成された緻密な $Al_2O_3$ よりなり多数のノズル開口部14Aを形成されたディスク状のシャワープレート14が、前記外壁の一部として形成される。かかるHIP法により形成された $Al_2O_3$ シャワープレート14は $Y_2O_3$ を焼結助剤として使って形成され、気孔率が0.03%以下で実質的に気孔やピンホールを含んでおらず、30W/m<sup>2</sup>・Kに達する、セラミックとしては非常に大きな熱伝導率を有する。

【0023】前記シャワープレート14は前記処理容器11上にシールリング11sを介して装着され、さらに前記シャワープレート14上には同様なHIP処理により形成された緻密な $Al_2O_3$ よりなるカバープレート15が、シールリング11tを介して設けられている。前記シャワープレート14の前記カバープレート15と接する側には前記ノズル開口部14Aの各々に連通しプラズマガス流路となる凹部14Bが形成されており、前記凹部14Bは前記シャワープレート14の内部に形成され、前記処理容器11の外壁に形成されたプラズマガス入口11pに連通する別のプラズマガス流路14Cに連通している。

【0024】前記シャワープレート14は前記処理容器11の内壁に形成された張り出し部11bにより保持されており、前記張り出し部11bのうち、前記シャワープレート14を保持する部分には異常放電を抑制するために丸みが形成されている。

【0025】そこで、前記プラズマガス入口11pに供

給されたArやKr等のプラズマガスは前記シャワープレート14内部の流路14Cおよび14Bを順次通過した後、前記開口部14Aを介して前記シャワープレート14直下の空間11B中に一様に供給される。

【0026】前記カバープレート15上には、前記カバープレート15に密接し図3(B)に示す多数のスロット16a、16bを形成されたディスク状のスロット板16と、前記スロット板16を保持するディスク状のアンテナ本体17と、前記スロット板16と前記アンテナ本体17との間に挟持された $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ あるいは $Si_3N_4$ 等の低損失誘電体材料よりなる遅相板18とにより構成されたラジアルラインスロットアンテナ20が設けられている。前記ラジアルスロットラインアンテナ20は前記処理容器11上にシールリング11uを介して装着されており、前記ラジアルラインスロットアンテナ20には矩形あるいは円形断面を有する同軸導波管21を介して外部のマイクロ波源(図示せず)より周波数が2.45GHzあるいは8.3GHzのマイクロ波が供給される。供給されたマイクロ波は前記スロット板16上のスロット16a、16bから前記カバープレート15およびシャワープレート14を介して前記処理容器11中に放射され、前記シャワープレート14直下の空間11Bにおいて、前記開口部14Aから供給されたプラズマガス中にプラズマを励起する。その際、前記カバープレート15およびシャワープレート14は $Al_2O_3$ により形成されており、効率的なマイクロ波透過窓として作用する。その際、前記プラズマガス流路14A~14Cにおいてプラズマが励起されるのを回避するため、前記プラズマガスは、前記流路14A~14Cにおいて約6666Pa~13332Pa(約50~100 Torr)の圧力に保持される。

【0027】前記ラジアルラインスロットアンテナ20と前記カバープレート15との密着性を向上させるため、本実施例のマイクロ波プラズマ処理装置10では前記スロット板16に係合する前記処理容器11の上面の一部にリング状の溝11gが形成されており、かかる溝11gを、これに連通した排気ポート11Gを介して排気することにより、前記スロット板16とカバープレート15との間に形成された隙間を減圧し、大気圧により、前記ラジアルラインスロットアンテナ20を前記カバープレート15にしっかりと押し付けることが可能になる。かかる隙間には、前記スロット板16に形成されたスロット16a、16bが含まれるが、それ以外にもカバープレート15表面の微細な凹凸など様々な理由により隙間が形成されることがある。かかる隙間は、前記ラジアルラインスロットアンテナ20と処理容器11との間のシールリング11uにより封止されている。

【0028】さらに前記排気ポート11Gおよび溝11gを介して前記スロット板16と前記カバープレート15との間の隙間に分子量の小さい不活性気体を充填する

ことにより、前記カバープレート15から前記スロット板16への熱の輸送を促進することができる。かかる不活性気体としては、熱伝導率が大きくしかもイオン化エネルギーの高いHeを使うのが好ましい。前記隙間にHeを充填する場合には、0.8気圧程度の圧力に設定するのが好ましい。図3の構成では、前記溝15gの排気および溝15gへの不活性気体の充填のため、前記排気ポート11Gにバルブ11Vが接続されている。

【0029】前記同軸導波管21Aのうち、外側の導波管21Aは前記ディスク状のアンテナ本体17に接続され、中心導体21Bは、前記遅波板18に形成された開口部を介して前記スロット板16に接続されている。そこで前記同軸導波管21Aに供給されたマイクロ波は、前記アンテナ本体17とスロット板16との間を径方向に進行しながら、前記スロット16a、16bより放射される。

【0030】図2(B)は前記スロット板16上に形成されたスロット16a、16bを示す。

【0031】図2(B)を参照するに、前記スロット16aは同心円状に配列されており、各々のスロット16aに対応して、これに直行するスロット16bが同じく同心円状に形成されている。前記スロット16a、16bは、前記スロット板16の半径方向に、前記遅相板18により圧縮されたマイクロ波の波長に対応した間隔で形成されており、その結果マイクロ波は前記スロット板16から略平面波となって放射される。その際、前記スロット16aおよび16bを相互の直交する関係で形成しているため、このようにして放射されたマイクロ波は、二つの直交する偏波成分を含む円偏波を形成する。

【0032】さらに図2(A)のプラズマ処理装置10では、前記アンテナ本体17上に、冷却水通路19Aを形成された冷却ブロック19が形成されており、前記冷却ブロック19を前記冷却水通路19A中の冷却水により冷却することにより、前記シャワープレート14に蓄積された熱を、前記ラジアルラインスロットアンテナ20を介して吸収する。前記冷却水通路19Aは前記冷却ブロック19上においてスパイラル状に形成されており、好ましくはH<sub>2</sub>ガスをバブリングすることで溶存酸素を排除して且つ酸化還元電位を制御した冷却水が通される。

【0033】また、図2(A)のマイクロ波プラズマ処理装置10では、前記処理容器11中、前記シャワープレート14と前記保持台13上の被処理基板12との間に、前記処理容器11の外壁に設けられた処理ガス注入口11rから処理ガスを供給されこれを多数の処理ガスノズル開口部31B(図4参照)から放出する格子状の処理ガス通路31Aを有する処理ガス供給構造31が設けられ、前記処理ガス供給構造31と前記被処理基板12との間の空間11Cにおいて、所望の均一な基板処理がなされる。かかる基板処理には、プラズマ酸化処理、

プラズマ窒化処理、プラズマ酸窒化処理、プラズマCVD処理等が含まれる。また、前記処理ガス供給構造31から前記空間11CにC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>またはC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>などの解離しやすいフルオロカーボンガスや、F系あるいはCl系等のエッチングガスを供給し、前記保持台13に高周波電源13Aから高周波電圧を印加することにより、前記被処理基板12に対して反応性イオンエッチングを行うことが可能である。

【0034】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では、前記処理容器11の外壁は150°C程度の温度に加熱しておくことにより、処理容器内壁への反応副生成物等の付着が回避され、一日に一回程度のドライクリーニングを行うことで、定常的に、安定して運転することが可能である。

【0035】ところで、図2(A)のプラズマ処理装置10においては、前記同軸導波管21をラジアルラインスロットアンテナ20に接続する接続・給電部において、前記中心導体21Bに、前記中心導体21Bの径ないし断面積が前記スロット板16に向って増大するようにテーパ部21Btが形成されており、また前記外側導波管21Aにも、対応するテーパ部21Atが、前記導波管21Aの内径が前記アンテナ本体17に向って増大するように形成されている。前記アンテナ接続・給電部にかかるテーパ構造を形成することにより、前記接続・給電部におけるインピーダンスの急変が緩和され、その結果、かかるインピーダンスの急変に起因する反射波の形成が大きく低減される。

【0036】図3(A)は、図2(A)のプラズマ処理装置10における、前記同軸導波管21と前記ラジアルラインスロットアンテナ20との接続・マイクロ波給電部の構成を詳細に示す拡大図である。簡単のため、前記スロット板16に形成されたスロット16a、16bの図示は省略してある。

【0037】図3(A)を参照するに、前記内側導体21Bは直径が16.9mmの円形状断面を有し、前記スロット板16とアンテナ本体17の間には、前記遅相板18として、厚さが4mmで比誘電率εが10.1のアルミナ板が形成されている。一方、前記外側導波管21Aは、直径が38.8mmの円形断面を有する空間を画成し、前記内側導体21Bはかかる円筒形空間中に配設されている。

【0038】その際、図3(A)よりわかるように前記内側導体21Bは、前記スロット板16との接合面から7mmの範囲の接合部において断面積を前記接合面に向って増大させており、その結果、前記内側導体21Bは、前記接合面において径が23mmの円形状を有する。また、このようにして形成されたテーパ面21Btに対応して、前記アンテナ本体17にも、前記内側導体21Bとスロット板16との接合面から10mm(遅相板18の厚さ4mm+アンテナ本体17の厚さ6mm=

10mm)の位置から始まるテーパ面21Atが形成されている。

【0039】図4は、図3(A)の構成のラジアルラインスロットアンテナ20と導波管21との組み合わせについて、マイクロ波を前記導波管21からアンテナ20に供給した場合に前記導波管21に戻る反射波電力の割合を、図3(A)中のパラメータaを6.4mmに設定した場合について求めたものである。図4中、前記反射波の割合を◆で示す。また図4中には、図3(B)に示す、図3(A)の構成において前記テーパ部21Atおよび21Btを省略した構成について求めた反射波電力の割合を、\*で示す。

【0040】図4を参照するに、この図における反射波は前記導波管21とラジアルラインアンテナ20との接続部・給電部からのものだけでなく、プラズマからの反射波も含んでいるが、図3(B)の構成では反射波の割合が周波数にかかわらず-2dB程度になっており、80%近くのマイクロ波が反射されて導波管21およびこれに接続されたマイクロ波源に戻っていることがわかる。

【0041】これに対して図3(A)のテーパ面21Atおよび21Btを設けた構成では、反射波の割合はマイクロ波の周波数に依存し、特にプラズマ励起に使われる2.4GHz近傍の周波数において反射電力が-23dB(約14%)と、最小になることがわかる。

【0042】図5は、図3(A)のアンテナ構成を使って図2(A)のプラズマ処理装置10を、処理容器11中の内圧を133Pa(約1Torr)に設定し、前記シャワープレート14からArとO<sub>2</sub>をそれぞれ690SCCMおよび23SCCMの流量で供給し、さらに前記導波管21から前記ラジアルラインスロットアンテナ20に周波数が2.45GHzのマイクロ波を1.6kWのパワーで供給した場合に、前記導波管21とマイクロ波源との間に設けたパワーモニタにより観測した、マイクロ波反射係数を示す。従って、図5の反射係数は、前記導波管21とアンテナ20との接続部におけるマイクロ波の反射のみならず、処理容器11中において前記シャワープレート14直下に形成されたプラズマからの反射の効果も含んでいる。

【0043】図5を参照するに、図3(B)の接続部構成を使った場合には、反射波の割合が80%前後(反射係数≒0.8)で時間とともに大きく変動するのに対し、図3(A)の構成を使った場合には、反射波の割合は約30%(反射係数≒0.3)まで減少し、しかもほとんど一定になっているのがわかる。先の図4では、同軸導波管21とラジアルラインアンテナ20の接続部における反射は約14%程度であったことを考えると、図5に見られる約30%の反射係数は、プラズマからの反射の効果も含んでいることがわかる。

【0044】図6は、図2(A)の構成における処理ガ

ス供給構造31の構成を示す底面図である。

【0045】図6を参照するに、前記処理ガス供給構造31は例えばMgを含んだAl合金やAl添加ステンレススチール等の導電体より構成されており、前記格子状処理ガス通路31Aは前記処理ガス注入口11rに処理ガス供給ポート31Rにおいて接続され、下面形成された多数の処理ガスノズル開口部31Bから処理ガスを前記空間11Cに均一に放出する。また、前記処理ガス供給構造31には、隣接する処理ガス通路31Aの間にプラズマやプラズマ中に含まれる処理ガスを通過させる開口部31Cを形成されている。前記処理ガス供給構造31をMg含有Al合金により形成する場合には、表面に弗化物膜を形成しておくのが好ましい。また前記処理ガス供給構造31をAl添加ステンレススチールにより形成する場合には、表面に酸化アルミニウムの不動態膜を形成しておくのが望ましい。本発明によるプラズマ処理装置10では、励起される励起されるプラズマ中の電子温度が低いためプラズマの入射エネルギーが小さく、かかる処理ガス供給構造31がスパッタリングされて被処理基板12に金属汚染が生じる問題が回避される。前記処理ガス供給構造31は、アルミナ等のセラミックスにより形成することも可能である。

【0046】前記格子状処理ガス通路31Aおよび処理ガスノズル開口部31Bは図4に破線で示した被処理基板12よりもやや大きい領域をカバーするように設けられている。かかる処理ガス供給構造31を前記シャワープレート14と被処理基板12との間に設けることにより、前記処理ガスをプラズマ励起し、かかるプラズマ励起された処理ガスにより、均一に処理することが可能になる。

【0047】前記処理ガス供給構造31を金属等の導体により形成する場合には、前記格子状処理ガス通路31A相互の間隔を前記マイクロ波の波長よりも短く設定することにより、前記処理ガス供給構造31はマイクロ波の短絡面を形成する。この場合にはプラズマのマイクロ波励起は前記空間11B中においてのみ生じ、前記被処理基板12の表面を含む空間11Cにおいては前記励起空間11Bから拡散してきたプラズマにより、処理ガスが活性化される。また、プラズマ着火時に前記被処理基板12が直接マイクロ波に曝されるのを防ぐことが出来るので、マイクロ波による基板の損傷も防ぐことができる。

【0048】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では、処理ガス供給構造31を使うことにより処理ガスの供給が一様に制御されるため、処理ガスの被処理基板12表面における過剰解離の問題を解消することができ、被処理基板12の表面にアスペクト比の大きい構造が形成されている場合でも、所望の基板処理を、かかる高アスペクト構造の奥にまで実施することが可能である。すなわち、マイクロ波プラズマ処理装置10は、

設計ルールの異なる多数の世代の半導体装置の製造に有効である。

【0049】図7は、図2(A)の構成中の同軸導波管21に接続されるマイクロ波源の概略的構成を示す。

【0050】図7を参照するに、前記同軸導波管は、2.45GHzあるいは8.3GHzで発振するマグネトロン25Aを有する発振部25から延在する導波管の端部に、前記発振部25から順にアイソレータ24、パワーモニタ23およびチューナ22を介して接続されており、前記発振器25で形成されたマイクロ波を前記ラジアルラインスロットアンテナ20に供給すると同時に、プラズマ処理装置10中に形成された高密度プラズマから反射したマイクロ波を、前記チューナ22においてインピーダンス調整を行うことにより、前記ラジアルラインスロットアンテナ20へと戻している。また、前記アイソレータ24は方向性を有する要素で、前記発振部25中のマグネトロン25Aを反射波から保護するように作用する。

【0051】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では、このように前記同軸導波管21とラジアルラインスロットアンテナ20との接続部ないし給電部にテーパ部21Aおよび21Bを形成することにより、かかる接続部におけるインピーダンスの急変が緩和され、その結果、インピーダンス急変にともなうマイクロ波の反射を抑制し、また前記同軸導波管21からアンテナ20へのマイクロ波の供給を安定化することが可能である。

【0052】なお、本実施例のマイクロ波プラズマ処理装置10において、図8の変形例に示すように、前記テーパ面21Aおよび21Bをそれぞれ湾曲面21Arおよび21Brに置き換えることも可能である。このように湾曲面を形成することにより、かかる接続部におけるインピーダンス変化をさらに緩和し、もって反射波の形成をさらに効率よく抑制することが可能になる。

【0053】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では、プラズマに起因する熱フラックスに曝されるシャワープレート14と冷却部との距離が、図1

(A)、(B)に示す従来のマイクロ波プラズマ処理装置に比べて大幅に短縮されており、その結果、誘電損失の大きいAINの代わりにAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のような、マイクロ波透過窓として好適な、誘電損失は小さいが熱伝導率も小さい材料をシャワープレートおよびカバープレートに使うことが可能になり、シャワープレートの昇温を抑制しつつ、同時にプラズマ処理の効率、従って処理速度を向上させることができる。

【0054】また本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では前記シャワープレート14とこれに対向する被処理基板12との間の間隔が狭いため、前記空間11Cで基板処理反応の結果生じた反応生成物を含むガスは、前記外周部の空間11Aへと流れる安定な流れを

形成し、その結果前記反応生成物は前記空間11Cから速やかに除去される。その際、前記処理容器11の外壁を150°C程度の温度に保持しておくことにより、前記反応生成物の処理容器11内壁への付着を実質的に完全に除去することが可能になり、前記処理装置10は次の処理を速やかに行うことが可能になる。

【0055】なお、本実施例においては特定の寸法の数値を挙げて説明をしたが、本発明はこれら特定の数値に限定されるものではない。

【第2実施例】図9は、本発明の第2実施例による、同軸導波管21とラジアルラインアンテナ20との接続部・給電部の構成を示す。ただし図9中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0056】図9を参照するに、前記同軸導波管21を構成する外側導波管21Aと前記ラジアルラインアンテナ20の本体17とは直角に結合され、直角に屈曲する接続・給電部が形成されている。また前記内側導体21Bもスロット板16と直角に結合されている。

【0057】一方、図9の構成では前記遅相板18として比誘電率の大きいAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を使い、さらに前記外側導波管21Aと内側導体21Bとの間に、比誘電率のより小さい、例えばSiO<sub>2</sub>よりなるリング状の部材18Aを、前記部材18Aの一端が前記遅相板18に接するように形成する。

【0058】かかる構成によれば、前記同軸導波管21とラジアルラインスロットアンテナ20との接続部において階段状のインピーダンス変化が出現し、反射波の発生が抑制される。その際、前記部材18Aの長さは、前記同軸導波管21およびアンテナ20よりなるアンテナ構造の特性に合わせて、最適に決定することができる。

【0059】図9の実施例では、前記リング状部材18Aのうち、前記遅相板18に接する第1の側の端面に対して対向する第2の側の端面は空気に接しているが、図10の変形例に示すように、前記リング状部材18Aの前記第2の端面に接するように、より比誘電率の小さい、例えばテフロンよりなる別のリング状部材18Bを設け、接続部における階段状のインピーダンス変化の際の階段の数を増大させることも可能である。

【0060】さらに、図11の変形例に示すように、前記リング状部材18Aを誘電率の異なるSiO<sub>2</sub>粒とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>粒の混合物を焼結したものにより構成し、その際前記リング状部材18A中のSiO<sub>2</sub>とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の組成比を、その誘電率が前記第1の端面から第2の端面に向って連続的に増大するように、混合比を制御してもよい。

【0061】図12は、本実施例別の変形例による、同軸導波管21とラジアルラインアンテナ20との接続部の構成を示す。ただし図12中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0062】図12を参照するに、本変形例では、前記

リング状部材18Aの第2の端面をテーパ面とし、前記リング状部材18Aの肉厚が、前記遅相板18に向って直線的に増大するように構成されている。

【0063】かかる構成では、前記リング状部材18Aとして、 $Al_2O_3$ など、前記遅相板18と同じ材料を使った場合、前記接続・給電部のインピーダンスがラジアルラインスロットアンテナに向って連続的に増大し、インピーダンスの急変に伴う反射が抑制され、効率的で安定なマイクロ波の供給が実現される。

【0064】なお、図12の構成において前記リング状部材18Aのテーパ面を、図13の変形例に示すように、前記接続・給電部の特性に応じて前記リング状部材18Aの肉厚が非直線的に変化するように湾曲面とすることも可能である。例えば、前記リング状部材18Aの肉厚を、指数関数的に増大させることも可能である。

【0065】さらに、図14に示すように、図9のリング状部材18Aを、先に図3(A)で説明した、テーパ面21Atおよび21Btを有する構成に組み合わせることも可能である。その際、前記リング状部材18Aは図9のものに限定されるものではなく、図9～13のいずれの構成を組み合わせることも可能である。

【第3実施例】図15は、本発明の第3実施例によるプラズマ処理装置10Aの構成を示す。ただし図15中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0066】図15を参照するに、プラズマ処理装置10Aでは前記シャワープレート14が撤去され、その代わりに前記処理容器11中に、好ましくは対称的に、複数のプラズマガス供給管11Pが、前記ガス通路11pに連通して形成されている。本実施例のプラズマ処理装置10Aでは、構成が簡素化され、製造費用を大きく低減することが可能である。

【0067】かかる構成のプラズマ処理装置10Aにおいても、前記ラジアルラインスロットアンテナ20と同軸導波管21との接続・給電部にテーパ面21At、21Btを形成することにより、反射波が抑制され、給電効率が向上し、反射波による異常放電が抑制され、プラズマ形成が安定化する。また本実施例においても、前記接続部の構成は図3(A)に示したものに限定されるものではなく、図8～14のいずれの構成を使うことも可能である。

【第4実施例】図16は、本発明の第4実施例によるプラズマ処理装置10Bの構成を示す。ただし図16中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0068】図16を参照するに、本実施例のプラズマ処理装置10Bでは、前記下段シャワープレート31が撤去されている。また、前記シャワープレート14を保持する前記張り出し部11bの全面に丸みが形成されている。

【0069】かかる構成のプラズマ処理装置10Bでは、前記下段シャワープレート31が省略されているためプラズマガスとは別に処理ガスを供給して成膜やエッチングを行うことはできないが、前記シャワープレート14からプラズマガスとともに酸化ガスあるいは窒化ガスを供給することにより、被処理基板表面に酸化膜や窒化膜、あるいは酸窒化膜を形成することが可能である。

【0070】本実施例においても、前記同軸導波管21とラジアルラインスロットアンテナ20との接続・給電部にテーパ面21At、21Btを形成することにより、反射波が抑制され、給電効率が向上し、反射波による異常放電が抑制され、プラズマ形成が安定化する。また本実施例においても、前記接続部の構成は図3(A)に示したものに限定されるものではなく、図8～14のいずれの構成を使うことも可能である。

【第5実施例】さらに本発明による接続・給電構造は、図2(A)のプラズマ処理装置10あるいはその変形例に限定されるものではなく、先に図1(A)、(B)で説明した従来のラジアルラインスロットアンテナを使ったプラズマ処理装置100に対しても適用可能である。

【0071】図17は、本発明の接続・給電構造を使った本発明の第5実施例によるプラズマ処理装置100Aの構成を示す。ただし図17中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0072】図17を参照するに、プラズマ処理装置100Aは前記従来のプラズマ処理装置100と実質的に同じ構成を有するが、前記同軸導波管110Aとラジアルラインスロットアンテナ本体110Bあるいはスロット板110Dとの接続部に、先のテーパ面21Atあるいは21Btと同様なテーパ面が形成されているのがわかる。

【0073】本実施例においても、前記同軸導波管110Aとラジアルラインスロットアンテナとの接続部にテーパ面を形成することにより、反射波が抑制され、給電効率が向上し、反射波による異常放電が抑制され、プラズマ形成が安定化する。また本実施例においても、前記接続部の構成は図3(A)に示したものに限定されるものではなく、図8～14のいずれの構成を使うことも可能である。

【第6実施例】図18は、図2(A)、(B)のマイクロ波プラズマ処理装置10を含む本発明の第6実施例による半導体製造装置40の全体構成を示す断面図である。

【0074】図18を参照するに、半導体製造装置40は搬送アーム415を備えたロボット405が設けられた真空トランスファ室401を含み、前記マイクロ波プラズマ処理装置10は、かかる真空トランスファ室401の上面に形成されている。その際、前記保持台13は、ベローズ410で囲まれた昇降シリンダ406により昇降自在に形成されている。前記保持台13が下がり

きった状態で被処理基板12が前記搬送アーム415により着脱され、上がりきった状態で前記真空トランスファ室401からシール410Aにより遮断され、所望の基板処理が行われる。

【0075】また前記真空トランスファ室401上にはその上面の別の個所に、被処理基板のスタック404を保持する昇降ステージ418を備えたロードロック室402が設けられており、前記ロードロック室402は前記昇降ステージ418が上がりきった状態でシール417により真空トランスファ室401から遮断されている。一方、前記昇降ステージ418が下降した状態では、前記被処理基板スタック404は真空トランスファ室401中に下降し、前記搬送アーム415が前記被処理基板スタック404から基板をピックアップし、あるいはこれに処理済みの基板を戻す。

【0076】かかる構成の半導体製造装置40ではマイクロ波プラズマ処理装置10への被処理基板の出し入れが側壁面を介さず上下方向になされるため、処理容器11内においてプラズマが軸対称に形成され、また処理容器の排気も軸対称に配設された複数の排気ポートから複数のポンプにより実行されるため、均一なプラズマ処理が保証される。

【0077】図19は前記処理ユニットAの排気系の構成を示す。

【0078】図19を参照するに、前記処理ユニットAにおいては処理容器11の各々の排気ポート11aはダクトD<sub>1</sub>に接続され、前記ダクトD<sub>1</sub>に設けられた、各々図14(A)、(B)に示す構成を有するネジ溝分子ポンプP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>により排気される。前記ネジ溝分子ポンプP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>の排気側は、前記半導体製造装置40中の他の処理ユニットB、Cと共通に設けられている排気ラインD<sub>2</sub>に接続され、さらに前記排気ラインD<sub>2</sub>は中間ブースターポンプP<sub>3</sub>を介して、他の同様な半導体製造装置と共通に接続されている排気ラインD<sub>3</sub>に接続される。

【0079】図20(A)は、前記ネジ溝分子ポンプP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>の構成を示す。

【0080】図20(A)を参照するに、ネジ溝分子ポンプは円筒形状の本体51を有し、前記本体51の一端にポンプ入口が、また前記本体51の底面近傍の側壁面上にはポンプ出口が形成されている。本体51中には図20(B)に示すロータ52が設けられており、前記ロータ52上には不等ピッチ不等傾角スクリュー52Aが形成されている。不等ピッチ不等傾角スクリュー52Aは、ポンプ入口側でピッチが大きく出口側に向ってピッチが減少する構成を有しており、またこれに応じてスクリューの傾角も入口側から出口側に向って徐々に減少している。またポンプ室の体積も、入口側から出口側に向って徐々に減少している。

【0081】図20(A)のネジ溝分子ポンプはさらに前記ロータ52内に配設されたモータ53と、前記ロー

タ52の角位置を検出する角位置検出器54と、前記角位置検出器54に協働するマグネット55とを含んでおり、電磁石機構56により、前記ロータ52が出口側に付勢される。

【0082】かかるネジ溝分子ポンプは簡単な構成を有し、大気圧から数mTorrまでの広い圧力範囲において動作し、消費電力が小さく、従来のターボ分子ポンプよりも大きな320mL/minに達するポンプ速度を得ることができる。

【0083】図21は、図19の構成において前記ネジ溝分子ポンプP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>を排気する中間ブースターポンプP<sub>3</sub>として使われる不等ピッチ不等傾角スクリューポンプ(GLSP)60の構成を示す。

【0084】図21を参照するに、前記不等ピッチ不等傾角スクリューポンプでは、一端に入口61Aが、また他端に出口63A、63B形成されたポンプ本体61中に、各々が図20(B)に示したような、スクリューピッチを入口側から出口側に向って徐々に変化させる一対のスクリューロータ62A、62Bが、それぞれのスクリューが互いにかみ合うような関係に設けられており、ロータ62A、62Bは、モータ64により、歯車63A、63Bを介して駆動される。

【0085】かかる構成の不等ピッチ不等傾角スクリューポンプ60は常圧から10<sup>-4</sup>Torrに至る低圧までの広い圧力範囲において動作可能であり、2500L/minに達する非常に大きな流量を実現することができる。

【0086】また図19の構成では、他の半導体製造装置からの排気を、かかる中間ブースターポンプP<sub>3</sub>を介して共通のバックポンプP<sub>4</sub>で排気することにより、前記バックポンプP<sub>4</sub>を最も効率的な動作圧力範囲で動作させることができ、消費電力を大きく低減することができる。

【0087】図22は、図18の半導体製造装置40において、各々の処理ユニットA~Cに協働するガス供給系の構成を示す。

【0088】先にも説明したように、前記半導体製造装置40ではマイクロ波プラズマ処理装置10の処理容器11を150°C程度の温度に保持することで、基板処理に伴い生じた反応生成物の付着を抑制している。すなわち、図19の処理ユニットは、特別なクリーニング処理をせずとも前の処理工程の記憶ないし履歴を完全に消去できる特徴を有している。

【0089】このため、図19の処理ユニットを使って、プラズマガスおよび/または処理ガスを切替ながら、異なった基板処理工程を次々と実行することが可能であるが、このためには、迅速に処理ガスを切替できる構成のガス供給系が必要になる。

【0090】図22を参照するに、N<sub>2</sub>、Kr、Ar、H<sub>2</sub>、NF<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、CHF<sub>3</sub>、O<sub>2</sub>、CO、HBr、S

SiCl<sub>4</sub>等より選ばれた一または二のガスが、第1および/または第2の流量制御装置FCS1およびFCS2を通して前記処理容器11上に設けられ前記シャワープレート14に連通するプラズマガス供給ポート11pに供給され、一方、前記N<sub>2</sub>、Kr、Ar、H<sub>2</sub>、NF<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、CHF<sub>3</sub>、O<sub>2</sub>、CO、HBr、SiCl<sub>4</sub>等より選ばれた一または複数のガスが、第3～第7の流量制御装置FCS3～FCS7を通して、前記処理ガス供給構造30に連通した前記処理ガス供給ポート11rに供給される。

【0091】その際、図23に示す、制御弁71と圧力計72とストップバルブ73とオリフィス74とを直線状の配管70に順次形成した構成の流量制御装置を使い、前記オリフィス74下流側の圧力P<sub>2</sub>が前記ストップバルブ73上流側の圧力P<sub>1</sub>の半分以下になるように(P<sub>1</sub>≥2P<sub>2</sub>)制御弁71を前記圧力計72により制御することにより、処理ガスを所定の流量で瞬時に供給することが可能になる。これは、この流量制御装置内に流量制御不能なデッドスペースが存在しないためである。

【0092】そこで、図22のガス供給系において図23の流量制御装置を使うことにより、プラズマガスあるいは処理ガスを、前記処理ユニット中での基板処理の種類に応じて瞬時に切替えることが可能になる。

【0093】なお、前記半導体製造装置40においては、先に説明したプラズマ処理装置10のみならずその変形例によるプラズマ処理装置、あるいは他の実施例によるプラズマ処理装置10A、10Bを使うことも可能である。

【0094】本発明は上記特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した本発明の主旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0095】

【発明の効果】本発明によれば、マイクロ波プラズマ処理装置において、マイクロ波を給電する同軸導波管とマイクロ波をプラズマ処理装置の処理容器中に放射するマイクロ波アンテナと間の接続部においてインピーダンス変化が緩和され、その結果かかる接続部における反射波の形成が抑制され、給電効率が向上し、また反射波による異常放電が抑制され、処理容器中に安定した高密度プラズマを形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)は、従来のラジアルラインスロットアンテナを使ったマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図2】(A)、(B)は、本発明の第1実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図3】(A)、(B)は、図2の装置における同軸導波管とラジアルラインスロットアンテナの接続部の構成例を示す図である。

【図4】図3の構成による反射低減効果を示す図である。

る。

【図5】図3の給電構造を使って図2(A)、(B)のプラズマ処理装置中にマイクロ波プラズマを形成した場合の反射係数の実測結果を示す図である。

【図6】図2(A)のマイクロ波プラズマ処理装置の処理ガス供給機構の構成を示す図である。

【図7】図2(A)のマイクロ波プラズマ処理装置に結合されるマイクロ波電源の構成を示す図である。

【図8】本実施例の一変形例によるマイクロ波給電構造の構成を示す図である。

【図9】本発明の第2実施例によるマイクロ波給電構造の構成を示す図である。

【図10】図9のマイクロ波給電構造の一変形例を示す図である。

【図11】図9のマイクロ波給電構造の別の変形例を示す図である。

【図12】図9のマイクロ波給電構造の別の変形例を示す図である。

【図13】図9のマイクロ波給電構造のさらに別の変形例を示す図である。

【図14】図9のマイクロ波給電構造のさらに別の変形例を示す図である。

【図15】本発明の第3実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図16】本発明の第4実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図17】本発明の第5実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図18】図2(A)、(B)のマイクロ波プラズマ処理装置を使った本発明の第6実施例による半導体製造装置の構成を示す図である。

【図19】図18(A)、(B)の半導体製造装置の排気系の構成を示す図である。

【図20】図19の排気系で使われるネジ溝分子ポンプの構成を示す図である。

【図21】図19の排気系で使われる不等ピッチ不等傾角スクリーンプンプの構成を示す図である。

【図22】図19の処理ユニットにおいて使われるガス供給系の構成を示す図である。

【図23】図22のガス供給系で使われる流量制御装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

10、10A、10B、100、100A プラズマ処理装置

11 処理容器

11a 排気ポート

11b 張り出し部

11p プラズマガス供給ポート

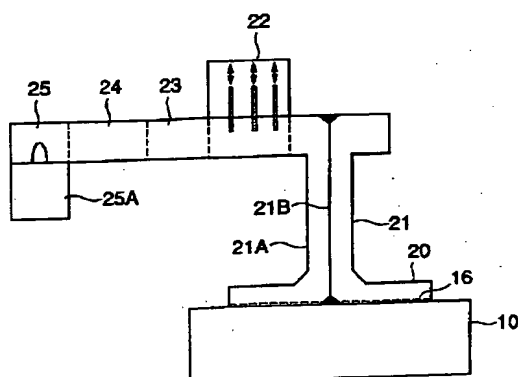
11r 処理ガス供給ポート

11A、11B、11C 空間

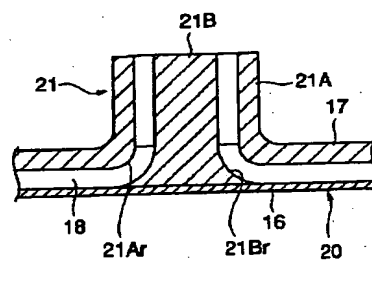
11G 減圧およびHe供給ポート  
 11P プラズマガス導入口  
 12 被処理基板  
 13 保持台  
 13A 高周波電源  
 14 シャワープレート  
 14A プラズマガスノズル開口部  
 14B, 14C プラズマガス通路  
 15 カバープレート  
 16 スロット板  
 16a, 16b スロット開口部  
 17 アンテナ本体  
 18 遅波板  
 18A, 18B リング状部材  
 19 冷却ブロック  
 19A 冷却水通路  
 19B 空冷冷却機構  
 20 ラジアルラインアンテナ  
 20B ホーンアンテナ  
 20b ホーンアンテナ冷却装置  
 21 同軸導波管  
 21A 外側導波管  
 21B 内側給電線  
 21At, 21Bt テーパー面  
 21Ar, 21Br 湾曲面  
 22 チューナ  
 23 パワーモニタ  
 24 アイソレータ  
 25 発振部  
 25A マグネトロン  
 30 処理ガス供給構造  
 31A 処理ガス通路  
 31B 処理ガスノズル  
 31C プラズマ拡散通路  
 31R 処理ガス供給ポート

40 半導体製造装置  
 401 真空搬送室  
 402 ロードロック室  
 402A 被処理基板ロードロック室  
 402B 処理済基板ロードロック室  
 404 被処理基板スタック  
 405 搬送口ポット  
 406 昇降シリンダ  
 410A, 417 シール  
 415 搬送アーム  
 410 ベローズ  
 418 昇降ステージ  
 50 ネジ溝分子ポンプ  
 51 ポンプ本体  
 52 ロータ  
 52A スクリュー  
 53 モータ  
 54 角位置検出部  
 55 マグネット  
 56 電磁付勢部  
 60 不等ピッチ不等傾角スクリューポンプ  
 61 ポンプ本体  
 61A ポンプ入口  
 61B ポンプ出口  
 62A, 62B ロータ  
 63A, 63B 歯車  
 64 モータ  
 70 流量制御装置  
 71 制御弁  
 72 圧力計  
 73 ストップバルブ  
 74 オリフィス  
 A~C 処理ユニット  
 D1~D3 ダクト  
 P1~P4 ポンプ

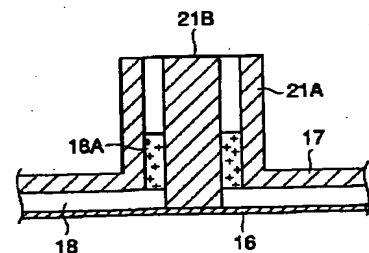
【図7】



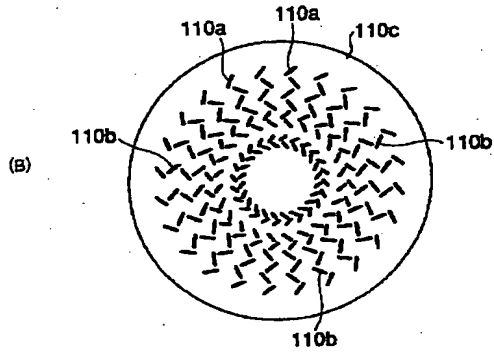
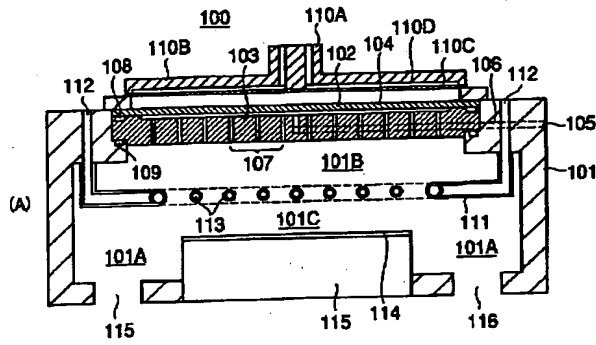
【図8】



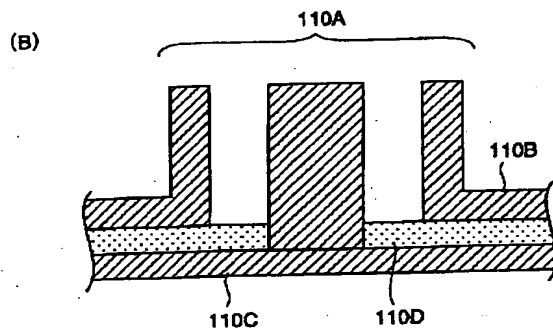
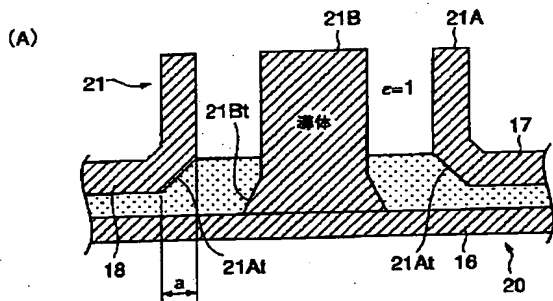
【図9】



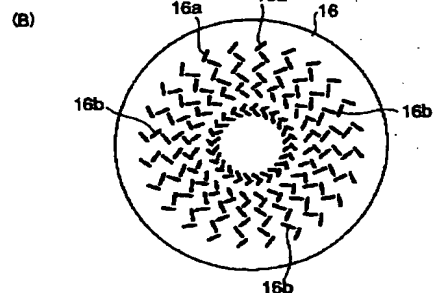
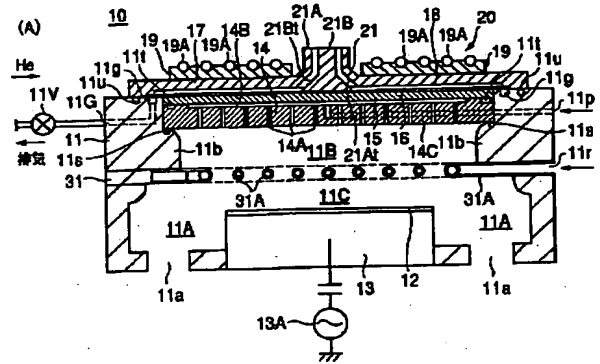
【図1】



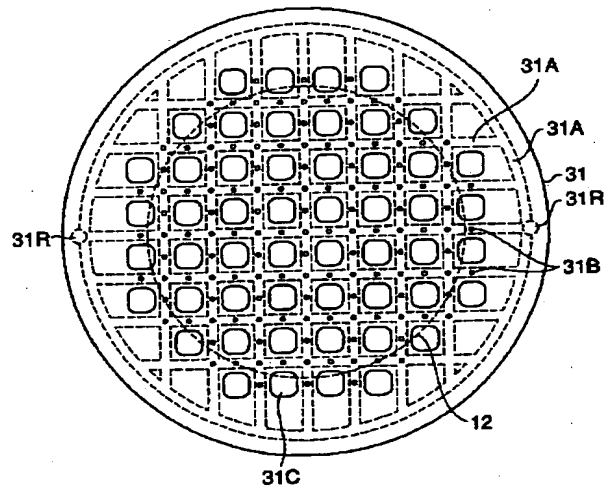
【図3】



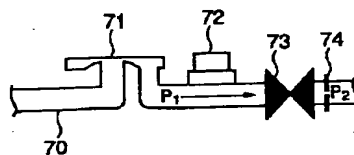
【図2】



【図6】

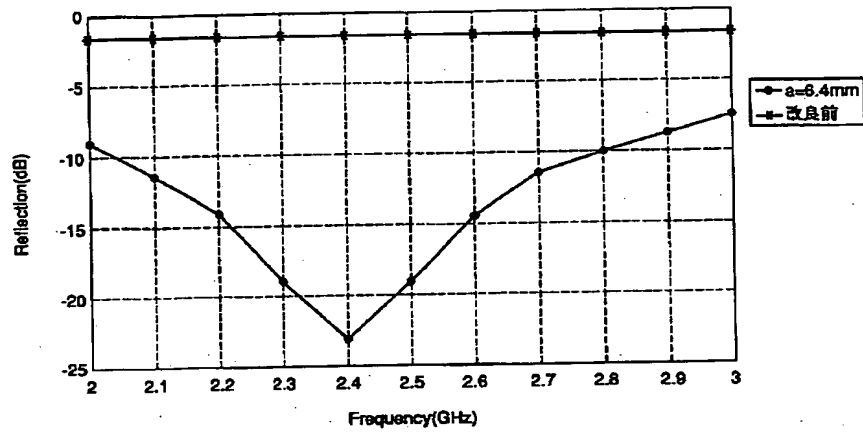


【図23】

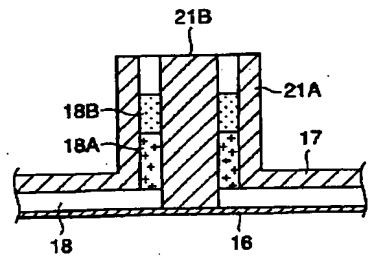


【図4】

給電部反射特性

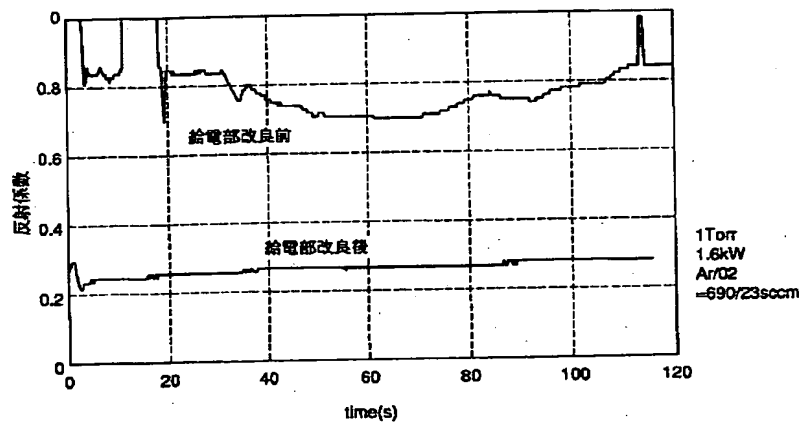


【図10】

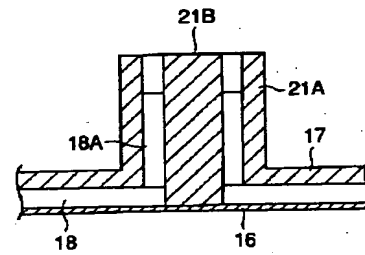


【図5】

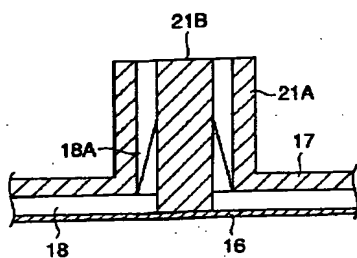
インピーダンスモニタ計測



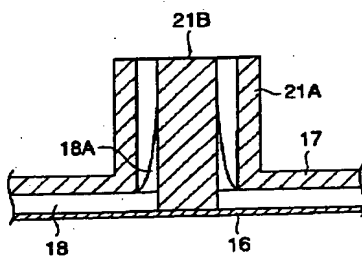
【図11】



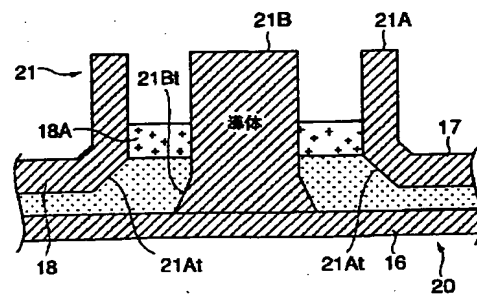
【図12】



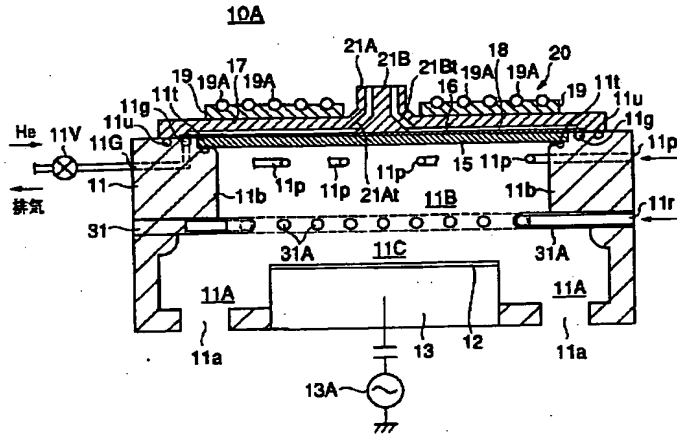
【図13】



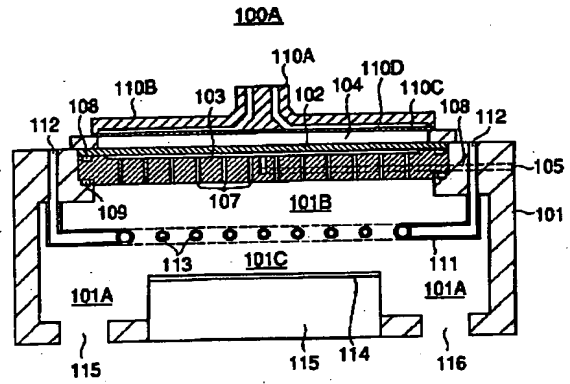
【図14】



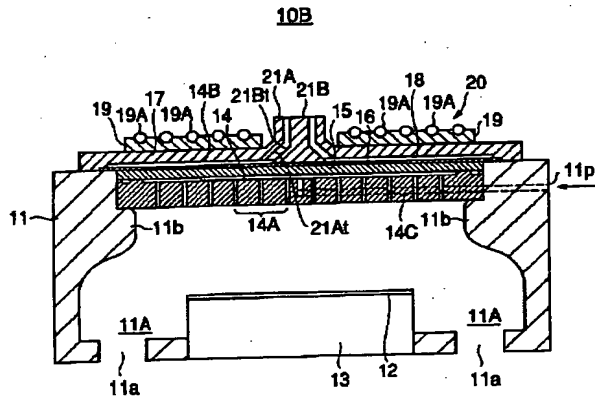
【図15】



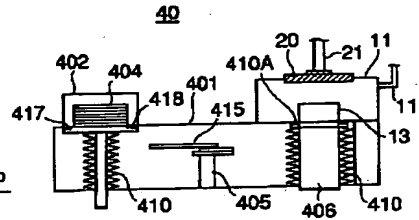
【図17】



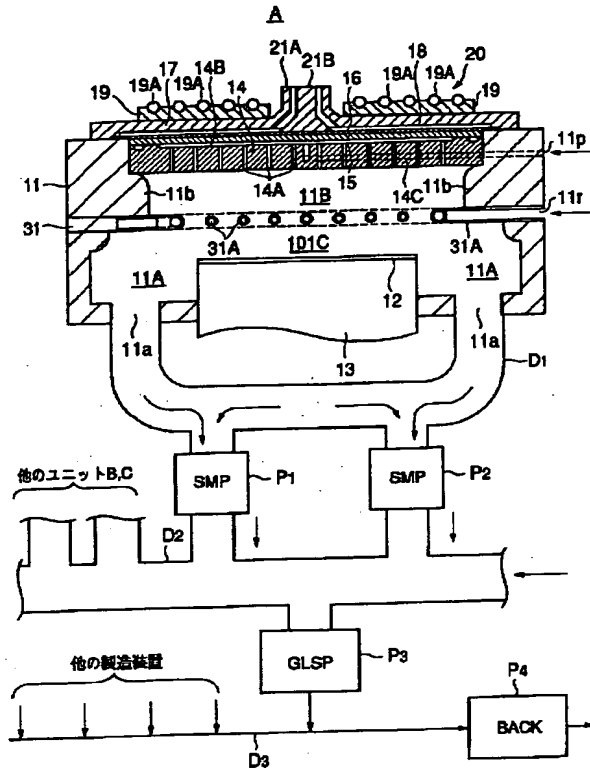
【図16】



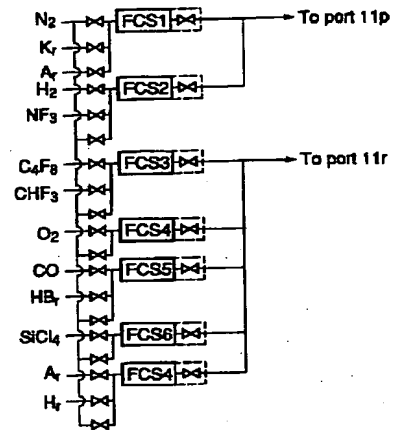
【図18】



【図19】



【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 平山 昌樹  
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学  
内  
(72)発明者 須川 成利  
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学  
内

(72)発明者 後藤 哲也  
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学  
内

Fターム(参考) 5F004 AA16 BA20 BB14 BB18 BB28  
BB29 BB32 BC03 DA00 DA23  
5F045 AA09 BB08 BB15 BB16 DP03  
DQ10 EF05 EH02 EH03